

Jenis Tulisan: Artikel penelitian

Analisis Jasa Ekosistem Menggunakan *I-Tree Canopy* di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor

Nurul Aliyah Akhmad*¹, Zahra Nirwasita Yuriz¹

¹ Program Studi Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor 16680, Indonesia

*Corresponding Author: Email aliyahakhmad28@gmail.com

Tulisan Diterima:
15 Januari 2026

Tulisan Disetujui:
30 Maret 2026

Kata kunci:
Cisarua, *i-Tree Canopy*, jasa ekosistem, polusi udara, ruang terbuka hijau.

Keywords:
Cisarua, *i-Tree Canopy*, ecosystem services, air pollution, urban green space.

ABSTRAK

Prediksi manfaat ekologis Ruang Terbuka Hijau (RTH) sangat krusial di kawasan hulu seperti di Kecamatan Cisarua yang berfungsi sebagai penyangga DAS Ciliwung. Penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi tutupan lahan dan mengestimasi jasa ekosistem menggunakan platform *i-Tree Canopy* melalui interpretasi visual terhadap 700 titik sampel acak. Hasil menunjukkan bahwa Kecamatan Cisarua didominasi oleh tutupan pohon/semak sebesar 50,00% (35,75 km²) dan rumput/herba sebesar 24,86% (17,77 km²). Sementara itu, permukaan kedap air (IB, IO, IR) tercatat sebesar 17,29% yang perlu diwaspadai karena potensi peningkatan limpasan. Jasa ekosistem tahunan yang dihasilkan meliputi sekuestrasi 10,94 kiloton (kt) karbon per tahun, penyaringan 316,22 ton polutan udara (didominasi O₃ dan PM₁₀), serta pencegahan 118,37 ML limpasan air hujan per tahun. Secara ekonomi, total nilai jasa ekosistem tahunan diperkirakan mencapai Rp 106.990.617.142 per tahun. Selain itu, nilai penyimpanan karbon dalam biomassa pohon mencapai Rp 2.185.850.958.695. Temuan ini menegaskan pentingnya strategi desain lanskap berkelanjutan, seperti penguatan sabuk hijau dan penerapan Nature-based Solutions (NbS), untuk memitigasi tekanan pembangunan di kawasan hulu.

ABSTRACT

Predicting the ecological benefits of Urban Green Spaces (UGS) is crucial in upstream areas such as Cisarua District, which functions as a buffer zone for the Ciliwung Watershed. This study aims to analyze land cover composition and estimate ecosystem services using the i-Tree Canopy platform through visual interpretation of 700 randomly distributed sample points. The results indicate that Cisarua District is dominated by Tree/Shrub cover at 50.00% (35.75 km²) and Grass/Herbaceous cover at 24.86% (17.77 km²). Meanwhile, impervious surfaces (IB, IO, IR) account

for 17.29% of the total area, which requires attention due to the potential increase in surface runoff. The quantified annual ecosystem services include carbon sequestration of 10.94 kilotons (kt) per year, removal of 316.22 tons of air pollutants (predominantly O₃ and PM₁₀), and avoided runoff of 118.37 million liters per year. Economically, the total annual value of ecosystem services is estimated at IDR 106,990,617,142 per year. In addition, the carbon storage value in tree biomass amounts to IDR 2,185,850,958,695. These findings highlight the importance of sustainable landscape design strategies, such as green belt reinforcement and the implementation of Nature-based Solutions (NbS), to mitigate development pressures in upstream areas.

PENDAHULUAN

Prediksi manfaat ekologis Ruang Terbuka Hijau (RTH) berperan penting dalam memahami kemampuan vegetasi menyerap polusi udara dan menyimpan karbon. Analisis

ini menjadi dasar penilaian kontribusi vegetasi terhadap kualitas hidup masyarakat, terutama di daerah resapan hulu DAS Ciliwung. Melalui data yang akurat, pemerintah dapat merumuskan strategi konservasi dan peningkatan tutupan hijau secara tepat sasaran.

Hal ini sangat krusial untuk menjaga keberlanjutan lingkungan di wilayah Kawasan Puncak yang rentan terhadap perubahan tata guna lahan.

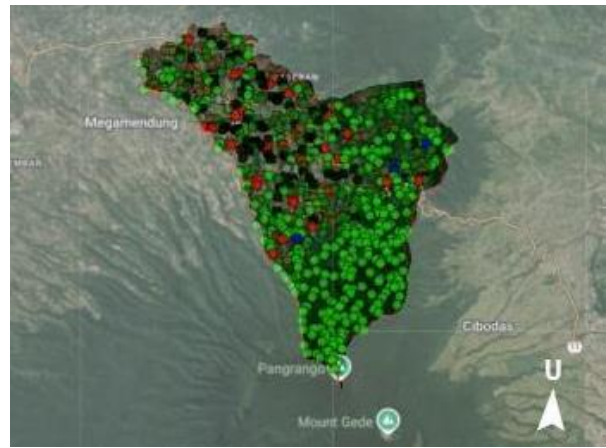
Metode *i-Tree Canopy* merupakan alat berbasis web yang efektif untuk menghitung manfaat ekologis melalui interpretasi titik sampel acak. Platform ini mengklasifikasikan tutupan lahan menjadi nilai jasa lingkungan berdasarkan standar internasional (Mills *et al.* 2015). Penggunaan metode ini memberikan estimasi akurat terkait penyerapan polutan, sequestrasi karbon, dan nilai ekonomi pohon. Aksesibilitas dan kemudahan penggunaan menjadi keunggulan utama dalam memberikan gambaran ekologis yang terukur pada berbagai skala wilayah, sebagaimana telah dibuktikan dalam penelitian Nowak *et al.* (2018) yang mencakup penggunaan di berbagai negara serta Raharjo (2018) yang menerapkannya untuk karakterisasi tutupan lahan di kawasan penyangga di Indonesia.

Kecamatan Cisarua saat ini menghadapi tekanan besar akibat aktivitas pariwisata dan konversi lahan hutan menjadi area permukiman. Degradasi vegetasi alami ini memicu peningkatan risiko bencana tanah longsor serta banjir bandang di hulu DAS Ciliwung (Farid *et al.*, 2022). Meskipun demikian, area perkebunan teh dan hutan rakyat masih memberikan manfaat krusial dalam pencegahan erosi dan regulasi tata air. Implementasi *i-Tree Canopy* sangat penting untuk menyusun strategi rehabilitasi lahan kritis dan penguatan fungsi resapan air wilayah.

METODOLOGI

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan fokus studi pada wilayah administratif Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor, Jawa Barat (Gambar 1). Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik strategis Kecamatan Cisarua sebagai kawasan pegunungan Puncak yang berfungsi sebagai daerah resapan air utama serta penyangga hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung.



Gambar 1. Peta Lokasi Wilayah Studi di Kecamatan Cisarua

2.2. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat laptop yang terhubung dengan jaringan internet untuk mengakses platform *i-Tree Canopy*, serta perangkat lunak ArcGIS untuk memproses peta batas administrasi wilayah studi. Bahan penelitian terdiri dari data sekunder berupa batas wilayah administratif, citra satelit *Google Earth* yang terintegrasi dalam platform *i-Tree Canopy*, serta berbagai referensi ilmiah.

2.3. Tahapan Pelaksanaan dan Analisis Data

Proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis sebagai berikut:

- a. Penentuan Batas Wilayah
Mengunggah file batas administrasi Kecamatan Cisarua yang bersumber dari ArcGIS ke dalam platform *i-Tree Canopy*.
- b. Klasifikasi Tutupan Lahan
Menetapkan kelas tutupan lahan yang terdiri dari pohon (*Tree/Shrub*), rumput (*Grass/Herbaceous*), area terbangun (*Impervious*), tanah terbuka (*Soil*), dan perairan (*Water*).
- c. Konfigurasi Parameter
Konfigurasi parameter dilakukan dengan menyesuaikan input data terhadap kondisi lokal Indonesia guna memastikan akurasi estimasi, yang meliputi:
 - a. Parameter Ekonomi dan Satuan
Penetapan mata uang Rupiah (IDR) untuk valuasi ekonomi dan penggunaan

- sistem metrik (meter, hektar, kilogram) sebagai satuan ukuran standar.
- b. Parameter Lokasi dan Wilayah
Pengunggahan batas administrasi Kecamatan Cisarua dalam format shapefile (vektor) untuk membatasi cakupan analisis spasial pada platform.
 - c. Parameter Klasifikasi Tutupan Lahan
Penentuan kategori objek yang akan diinterpretasi, terdiri dari pohon/semak (*Tree/Shrub*), rumput/herba (*Grass/Herbaceous*), area terbangun (*Impervious*), tanah terbuka (*Soil*), dan perairan (*Water*).
 - d. Parameter Jasa Lingkungan
Pengaturan jenis polutan udara yang diestimasi penyerapannya, mencakup Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂), Ozon (O₃), Sulfur Dioksida (SO₂), serta partikulat debu (PM_{2.5} dan PM₁₀). Selain itu, parameter ini juga mencakup variabel sekuestrasi karbon dan pengurangan limpasan air hujan (*avoided runoff*).
 - e. Sampling Data
Melakukan pengambilan sampel secara acak sebanyak 700 titik sampel untuk meminimalisir tingkat *standard error (SE)*. Setiap titik diklasifikasikan secara visual berdasarkan tampilan pada citra satelit.
 - f. Estimasi Jasa Ekosistem
Mengolah data untuk menghasilkan laporan otomatis mengenai persentase

tutupan lahan, penyimpanan dan sekuestrasi karbon, penyerapan berbagai polutan udara (CO, NO₂, O₃, SO₂, PM_{2.5}, dan PM₁₀), serta nilai ekonomi dari manfaat tersebut.

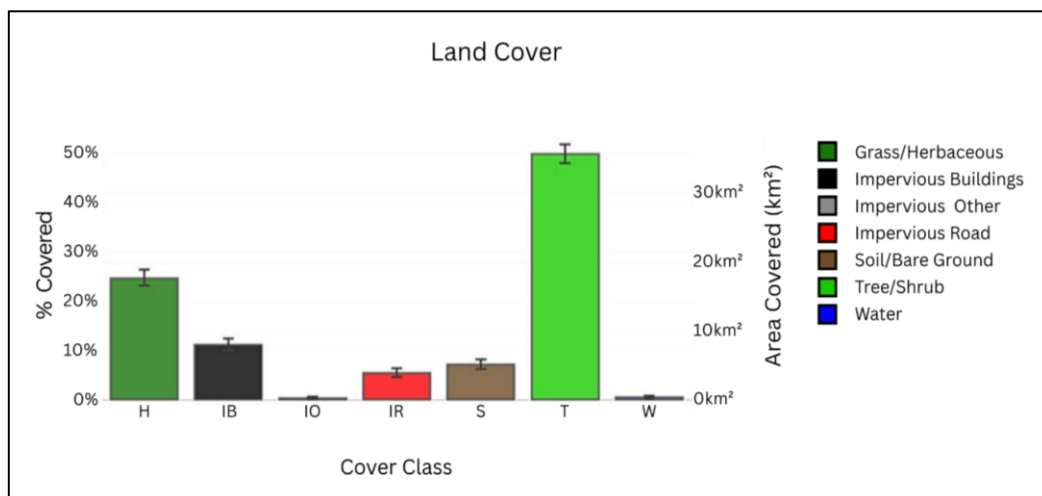
g. Interpretasi Hasil

Melakukan analisis mendalam terhadap hasil perhitungan untuk menilai kondisi ekologis eksisting dan merumuskan rekomendasi pengelolaan RTH di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Tutupan Lahan (*Land Cover*)

Hasil interpretasi 700 titik sampel (Gambar 2 dan Tabel 1) menunjukkan bahwa Kecamatan Cisarua didominasi oleh vegetasi, khususnya kelas *Tree/Shrub* sebesar 50% (35.75 km²) dan *Grass/Herbaceous* sebesar 24.86% (17.77 km²). Dominasi *tree/shrub* menggambarkan bahwa kawasan hulu ini masih mempertahankan kualitas ekologi yang baik. Sedangkan *grass/herbaceous* tersebut berkontribusi pada permeabilitas tanah sehingga meningkatkan kapasitas infiltrasi dan mengurangi risiko banjir (Rolina *et al.*, 2023). Namun, keberadaan permukaan kedap air (IB: 11,29%, IO: 0,43%, IR: 5,57%) dengan total sebesar 17,29% tetap perlu diperhatikan karena dapat meningkatkan potensi limpasan dan erosi.



Gambar 2. Komposisi Persentase dan Luas Tutupan Lahan di Kecamatan Cisarua

Tabel 1. *Cover Class and Land Cover Area*

Cover Class	Description	Points	% Cover ± SE (Standard Error)	Area (km ²) ± SE (Standard Error)
H	Grass/Herbaceous	174	24,86 ± 1,63	17,77 ± 1,17
IB	Impervious Buildings	79	11,29 ± 1,20	8,07 ± 0,86
IO	Impervious Other	3	0,43 ± 0,25	0,31 ± 0,18
IR	Impervious Road	39	5,57 ± 0,87	3,98 ± 0,62
S	Soil/Bare Ground	51	7,29 ± 0,98	5,21 ± 0,70
T	Tree/Shrub	350	50,00 ± 1,89	35,75 ± 1,35
W	Water	4	0,57 ± 0,29	0,41 ± 0,20
Total		700	100,00	71,51

Sumber: Hasil Analisis Pribadi menggunakan *i-Tree Canopy* (2025)

3.2. Manfaat Karbon (*Carbon Storage & Sequestration*)

Vegetasi di Kecamatan Cisarua memiliki peran ganda dalam mitigasi perubahan iklim, yaitu melalui penyimpanan karbon (*carbon storage*) dan penyerapan karbon tahunan (*carbon sequestration*). Penyimpanan karbon merujuk pada jumlah total karbon yang saat ini terakumulasi dalam biomassa pohon,

sedangkan penyerapan karbon adalah kemampuan vegetasi untuk menyerap CO₂ dari atmosfer setiap tahunnya melalui proses fotosintesis. Berdasarkan hasil analisis (Tabel 2), vegetasi di wilayah ini mampu menyerap 10,94 kiloton karbon per tahun (setara dengan 40,11 kiloton CO₂). Selain itu, total karbon yang tersimpan secara permanen pada biomassa pohon mencapai 274,75 kiloton karbon (setara dengan 1.007,43 kiloton CO₂).

Tabel 2. *Tree Benefit Estimates: Carbon*

Description	Carbon (kt)	±SE	CO ₂ Equiv. (kt)	±SE	Value (IDR)	±SE (Standard Error)
Sequestered annually in trees	10,94	±0,41	40,11	±1,52	87.038.007.656	±3.289.727.470
Stored in trees (not annual)	274,75	±10,38	1.007,43	±38,08	2.185.850.958.695	±82.617.400.568

Sumber: Hasil Analisis Pribadi menggunakan *i-Tree Canopy* (2025)

Penilaian ekonomi terhadap manfaat ini menjadi sangat relevan seiring dengan berkembangnya pasar karbon di Indonesia. Merujuk pada perkembangan nilai ekonomi karbon saat ini melalui Bursa Karbon Indonesia atau IDXCarbon, harga unit karbon berkisar di angka Rp. 30.000 hingga Rp. 200.000 per ton CO₂ tergantung pada jenis proyeknya. Namun, nilai ekonomi yang dihasilkan *i-Tree Canopy* (sekitar Rp. 2.170.000 per ton) biasanya menggunakan standar Social Cost of Carbon (SCC) yang mencakup dampak kerugian lingkungan secara

global, sehingga angkanya jauh lebih tinggi daripada harga pasar bursa karbon saat ini. Dalam perhitungan *i-Tree Canopy* yang dilakukan, nilai ekonomi dari penyerapan karbon tahunan di Cisarua mencapai Rp. 87.038.007.656 per tahun, sementara nilai aset dari karbon yang tersimpan mencapai Rp. 2.185.850.958.695 Hal ini menunjukkan bahwa penyimpanan karbon menjadi indikator penting bahwa kawasan Cisarua berperan sebagai *carbon sink* jangka panjang dalam menjaga stabilitas iklim (Sardi *et al.*, 2022). Sehingga pengelolaan RTH perlu diarahkan

untuk menjaga keberadaan pohon guna mempertahankan fungsi mitigasi iklim tersebut.

3.3. Pengurangan Polusi Udara

Analisis menunjukkan bahwa vegetasi di Kecamatan Cisarua berperan aktif sebagai filter udara alami yang menyaring berbagai

jenis polutan berbahaya. Secara keseluruhan, pohon-pohon di wilayah ini mampu menyerap sekitar 316,22 ton polutan per tahun (Tabel 3). Estimasi nilai ekonomi dari jasa pembersihan udara ini mencapai Rp. 15.292.166.641 per tahun. Kemampuan vegetasi ini berfungsi menjaga kesehatan udara dan mendukung keberlanjutan ekonomi berbasis pariwisata di kawasan tersebut.

Tabel 3. *Tree Benefit Estimates: Air Pollution*

Abbr.	Description	Amount (t)	±SE (Standard Error)	Value (IDR)	±SE (Standard Error)
CO	Carbon Monoxide removed annually	3,82	±0,14	100.074.195	±3.782.449
NO ₂	Nitrogen Dioxide removed annually	15,11	±0,57	43.704.013	±1.651.856
O ₃	Ozone removed annually	182,14	±6,88	1.953.153.379	±73.822.259
SO ₂	Sulfur Dioxide removed annually	32,60	±1,23	6.518.304	±246.369
PM2.5	Particulate Matter < 2.5 µm	9,51	±0,36	4.111.829.116	±155.412.533
PM10	Particulate Matter 2.5–10 µm	73,03	±2,76	9.076.887.633	±343.074.105
Total		316,22	±11,95	15.292.166.641	±577.989.571

Sumber: Hasil Analisis Pribadi menggunakan *i-Tree Canopy* (2025)

Berdasarkan data hasil analisis, jenis polutan yang dominan diserap oleh vegetasi adalah Ozon (O₃) sebesar 182,14 ton dan PM10 sebanyak 73,03 ton. Tingginya angka penyerapan ini merupakan respon langsung terhadap kepadatan aktivitas transportasi di sepanjang jalur wisata Puncak yang menjadi sumber emisi utama di wilayah tersebut. Efektivitas vegetasi dalam menyaring polutan tidak hanya berfungsi menjaga kualitas udara bagi lingkungan, tetapi juga mendukung keberlanjutan ekonomi berbasis pariwisata (Masrurah *et al.* 2024). Melalui kontribusi penyaringan polutan yang signifikan ini, keberadaan RTH di Cisarua secara efektif

mampu menekan beban biaya kesehatan masyarakat setempat.

3.4. Manfaat Hidrologis

Secara hidrologis, vegetasi di Kecamatan Cisarua memiliki fungsi kritis dalam mengatur siklus air di kawasan hulu. Kawasan ini mampu mencegah limpasan air hujan (*avoided runoff*) sebesar 118,37 Megaliter (ML) setiap tahun (Tabel 4). Manfaat ini memiliki nilai ekonomi yang mencapai Rp. 4.660.442.845 per tahun. Peran ini menjadi instrumen utama dalam menjaga fungsi resapan air wilayah di tengah tekanan konversi lahan.

Tabel 4. *Tree Benefit Estimates: Hydrological*

Abbr.	Benefit	Amount (Megaliter)(ML)	±SE (Standard Error)	Value (IDR)	±SE (Standard Error)
AVRO	Avoided Runoff	118,37	±4,47	4.660.442.845	±176.148.182
E	Evaporation	2.085,55	±78,83	N/A	N/A
I	Interception	2.099,46	±79,35	N/A	N/A
T	Transpiration	2.470,13	±93,36	N/A	N/A
PE	Potential Evaporation	12.878,00	±486,74	N/A	N/A
PET	Potential Evapotranspiration	12.878,00	±486,74	N/A	N/A

Sumber: Hasil Analisis Pribadi menggunakan *i-Tree Canopy* (2025)

Pada wilayah dengan kemiringan lereng yang tinggi, manfaat pencegahan limpasan ini sangat vital untuk menekan risiko erosi dan banjir bandang. Selain mencegah limpasan, vegetasi di wilayah ini menghasilkan 2.470,13 ML transpirasi dan 12.878 ML evapotranspirasi per tahun yang berperan penting dalam menjaga kelembapan udara serta suhu lingkungan. Pelestarian RTH di Cisarua menjadi kunci utama dalam strategi pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berkelanjutan bagi daerah hilir.

3.5. Rekomendasi Pengelolaan Lanskap

Berdasarkan hasil analisis *i-Tree Canopy*, total nilai jasa ekosistem tahunan di Kecamatan Cisarua diperkirakan dapat mencapai Rp. 106.990.617.142 per tahun, yang merupakan akumulasi dari nilai sekuestrasi karbon tahunan (Tabel 2), penyaringan polutan udara (Tabel 3), serta pengurangan limpasan air hujan atau *avoided runoff* (Tabel 4). Selain manfaat tahunan tersebut, vegetasi di wilayah ini juga memiliki nilai aset penyimpanan karbon (*carbon storage*) sebesar Rp 2.185.850.958.695 sebagaimana tercantum pada Tabel 2. Besarnya nilai ini memerlukan strategi manajemen lanskap untuk mempertahankan aset ekologis tersebut melalui poin-poin rekomendasi berikut:

1. Penguatan *Green Belt* di Zona Curam dan Hulu

Penerapan *green belt* di sepanjang lereng dan sempadan sungai sangat diperlukan untuk meningkatkan stabilitas lahan melalui penguatan sistem perakaran tanaman, yang berfungsi sebagai pengikat

alami dan peningkat kohesi tanah (Duraismy *et al.*, 2024). Strategi ini bertujuan menekan laju limpasan permukaan dengan meningkatkan infiltrasi air serta intersepsi kanopi, sekaligus meminimalisir risiko erosi dan longsor pada wilayah dengan kemiringan tinggi melalui efek hidromekanis vegetasi (DiBiagio *et al.*, 2024).

2. Pengendalian Perkembangan Kawasan Terbangun

Perencanaan zonasi yang ketat harus diterapkan melalui pengaturan Koefisien Dasar Bangunan dengan ketentuan minimum 40% untuk RTH privat. Desain lanskap pada fasilitas wisata dan permukiman baru perlu mengintegrasikan konsep *Nature-based Solutions* (Ferreira *et al.*, 2021), seperti *bioengineering* vegetasi, restorasi teras, dan infrastruktur hijau permeabel (Devanand *et al.*, 2023), yang meningkatkan retensi dan infiltrasi air hujan untuk mengurangi volume limpasan secara signifikan hingga 98% pada skenario urban (Kinoshita and Ozaki, 2024). Pendekatan ini sangat penting untuk mencegah penurunan fungsi resapan air akibat peningkatan permukaan kedap air, di mana impervious 10% saja dapat meningkatkan kedalaman runoff tahunan hingga 146% (Zhou *et al.*, 2024)

3. Peningkatan Vegetasi Jalan di Koridor Puncak

Hal ini merupakan strategi prioritas untuk memperbaiki kualitas udara akibat tingginya aktivitas kendaraan wisata, dimana emisi kendaraan menyumbang

polutan utama PM10 dan O₃. Pemilihan pohon harus difokuskan pada spesies dengan kapasitas penyerapan polutan tinggi, seperti *Acer* sp., *Ginkgo biloba*, dan *evergreen* spesies yang efektif melalui deposisi daun dan *uptake* stomata (Sicard *et al.*, 2018), guna mereduksi PM10 hingga 2-7% dari emisi lokal (Santamouris *et al.*, 2018) serta O₃ secara signifikan (Sicard *et al.*, 2018), sekaligus meningkatkan kenyamanan iklim mikro bagi wisatawan melalui naungan kanopi dan pendinginan evaporatif (Miao *et al.*, 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komposisi tutupan lahan (*land cover*) di Kecamatan Cisarua didominasi oleh area bervegetasi, dengan kelas *Tree/Shrub* mencakup 50% atau seluas 35,75 km². dan kelas *Grass/Herbaceous* sebesar 24,86% atau 17,77 km².
2. Persentase tutupan pohon di Kecamatan Cisarua mencapai 50,00%, yang memberikan landasan bagi penyediaan jasa lingkungan di kawasan hulu.
3. Prediksi manfaat ekologis RTH menunjukkan bahwa vegetasi di Kecamatan Cisarua mampu menyimpan 274,75 kiloton karbon serta menyerap 10,94 kiloton karbon per tahun. Selain itu, vegetasi berperan dalam menyaring 316,22 ton polutan udara per tahun dan mencegah limpasan air hujan sebesar 118,37 ML per tahun. Secara ekonomi, total nilai jasa ekosistem tahunan di Kecamatan Cisarua diperkirakan mencapai Rp. 106.990.617.142 per tahun, yang terdiri atas nilai sequestrasi karbon tahunan, penyaringan polutan udara, serta regulasi hidrologis berupa avoided runoff. Sementara itu, nilai penyimpanan karbon dalam biomassa pohon mencapai Rp. 2.185.850.958.695.
4. Kondisi ekologis Kecamatan Cisarua saat ini masih terjaga dengan baik berkat

dominasi vegetasi, namun tekanan pembangunan dan pariwisata memerlukan strategi perlindungan pohon eksisting dan penerapan solusi berbasis alam (*Nature-based Solutions*) untuk menjaga keberlanjutan fungsi hulu DAS Ciliwung.

REFERENSI

- Devanand, V.B., Mubeen, A., Vojinovic, Z., Sanchez Torres, A., Paliaga, G., Abdullah, A.F., Leitão, J.P., Manojlovic, N., & Fröhle, P. 2023. Innovative Methods for Mapping the Suitability of Nature-Based Solutions for Landslide Risk Reduction. *Land*, 12(7), 1357.
- DiBiagio, A., Capobianco, V., Oen, A., & Tallaksen, L.M. 2024. State-of-the-art: Parametrization of Hydrological and Mechanical Reinforcement Effects of Vegetation in Slope Stability Models for Shallow Landslides. *Landslides*, 21(10), 2417–2446.
- Duraisamy, Y., Othman, R., Sulaiman, M.A., Jaya, R.P., Taib, S.N.L., Rodzif, I.H.M., & Kambali, K. 2024. The Effectiveness of *Eugenia oleina* in Protecting Tropical Residual Slopes from Excessive Shear Failure. *The Open Construction & Building Technology Journal*, 18(1).
- Farid, M., Pratama, M.I., Kuntoro, A.A., Adityawan, M.B., Rohmat, F.I.W., & Moe, I.R. 2021. Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Debit Banjir di Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu. *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 309–318.
- Ferreira, C.S.S., Potočki, K., Kapović-Solomun, M., & Kalantari, Z. 2021. Nature-Based Solutions for Flood Mitigation and Resilience in Urban Areas. In: *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects*. Cham: Springer International Publishing, pp. 59–78.
- Kinoshita, T., & Ozaki, T. 2024. Estimation of Possible Locations for Green Roofs and Bioswales and Analysis of the Effect of Their Implementation on Stormwater Runoff Control. *Frontiers in Climate*, 6: 1287386.

- Masrurah, A., Rokimah, R., & Emawati, E. 2024. Studi Kepustakaan Pembelajaran Lingkungan Hidup Mengenai Peran Tanaman Hias dalam Menangkal Polusi Udara. *Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 4(2), 95–114.
- Miao, C., Li, P., Huang, Y., Sun, Y., Chen, W., & Yu, S. 2023. Coupling Outdoor Air Quality with Thermal Comfort in the Presence of Street Trees: A Pilot Investigation in Shenyang, Northeast China. *Journal of Forestry Research*, 34(3), 831–839.
- Mills, G., Anjos, M., Brennan, M., Michael, J., McAleavey, C., & Ningal, T. 2015. The Green ‘Signature’ of Irish Cities: An Examination of the Ecosystem Services Provided by Trees Using I-Tree Canopy Software. *Irish Geography*, 48, 62–77.
- Nowak, D.J., Maco, S., & Binkley, M. 2018. i-Tree: Global Tools to Assess Tree Benefits and Risks to Improve Forest Management. *Arboricultural Consultant*, 51(4), 10–13.
- Raharjo, A.P. 2018. Simulasi Pengurangan Limpasan Permukaan Menggunakan Sistem Pemanenan Air Hujan Sederhana di Kawasan Penyangga Perkotaan. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 13(1), 32–41.
- Rolina, M., Kadir, S., & Badaruddin, B. 2023. Analisis Infiltrasi pada Berbagai Tutupan Lahan di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Mandiangin Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sylva Scientiae*, 6(1), 125–131.
- Santamouris, M., Ban-Weiss, G., Osmond, P., Paolini, R., Synnefa, A., Cartalis, C., & Kolokotsa, D. 2018. Progress in Urban Greenery Mitigation Science – Assessment Methodologies, Advanced Technologies and Impact on Cities. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(8), 638–671.
- Sardi, W.D., Kainde, R.P., & Nurmawan, W. 2022. Cadangan Karbon pada Pohon di Taman Hutan Raya Gunung Tumpa HV Worang. *Cocos*, 14(3).
- Sicard, P., Agathokleous, E., Araminiene, V., Carrari, E., Hoshika, Y., De Marco, A., & Paoletti, E. 2018. Should We See Urban Trees as Effective Solutions to Reduce Increasing Ozone Levels in Cities? *Environmental Pollution*, 243, 163–176.
- Zhou, Y., Leng, Y.L., Wang, P.Y., Zhang, S.H., Zhu, Y.L., & Yi, Y.J. 2024. Effectiveness of Urban Distributed Runoff Model for Discharge and Water Depth Calculation in Urban Drainage Pipe Networks. *Journal of Hydrodynamics*, 36(3), 582–591.